



Messverfahren zu optischen Charakterisierung von Spiegelmaterialeien für CSP

DLR, 09.Juni 2009

S. Meyen, E. Lüpfer, J. Pernpeintner



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Ansprüche an Spiegelmaterialien für Solar-Kollektoren

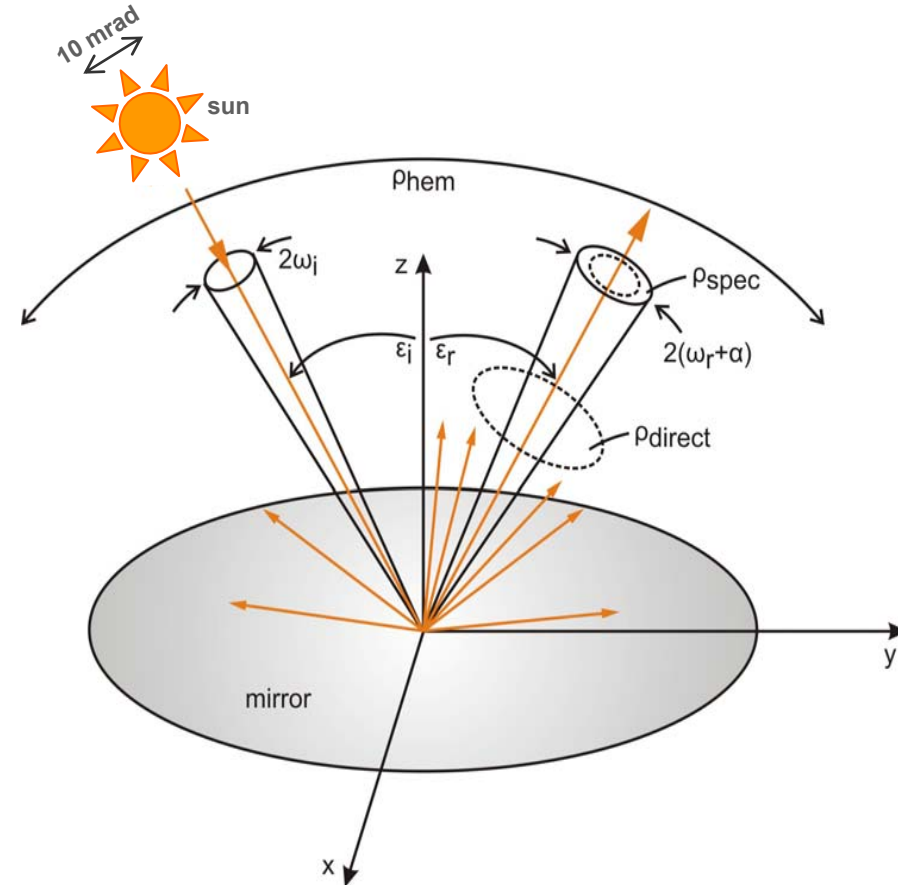
- hohe Reflektivität der Solareinstrahlung
- gute gerichtete Reflexionseigenschaften
- möglichst wenig Streuung und Strahlaufweitung
- gute Stabilität dieser Eigenschaften gegenüber Umwelteinflüssen bei langjährigem Einsatz

- Definition von Kennzahlen zur Charakterisierung
- Verfahren zur umfassenden Spiegel-Analyse



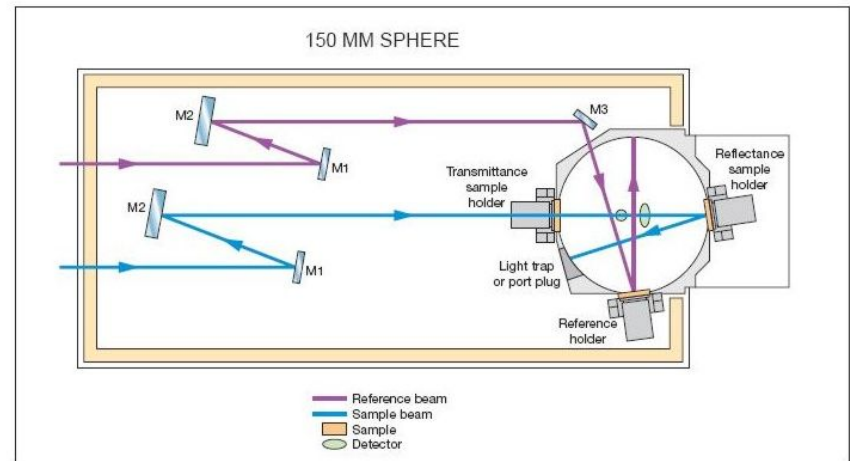
Definition der Reflexions-Parameter

- ρ_{spec} = gerichteter Reflexionsgrad
- α = Halbwinkel der Strahlaufweitung (< 3-4 mrad)
- $\rho_{\text{direct}} = \rho_{\text{spec}}$ + gerichtete Streuung innerhalb Akzeptanzwinkel
- $\rho_{\text{SWD}} = \rho_{\text{direct}}$ solar gewichtet (> 0,9)
- ρ_{hem} = spektraler hemisphärischer Reflexionsgrad
- $\rho_{\text{SWH}} = \rho_{\text{hem}}$ solar gewichtet (> 0,9)
- ζ_{hem} und ζ_{direct} = reduzierter Reflexionsgrad nach Alterungstest



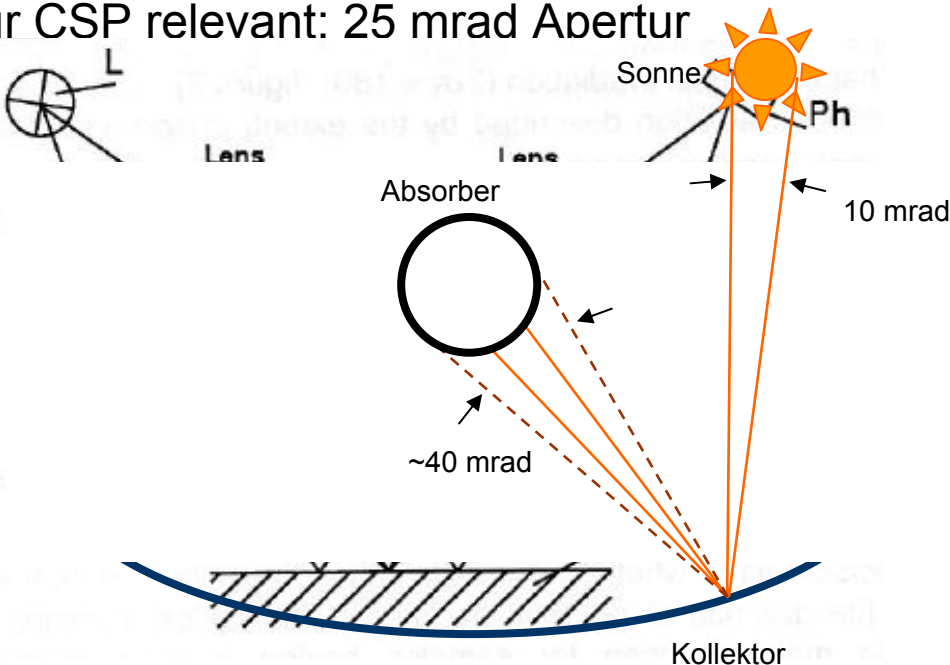
Messung spektraler hemisphärischer Reflexionsgrad ρ_{hem}

- *Perkin Elmer Lambda 950*
Zweistrahl-Spektrophotometer
- Integrationskugel
- Wellenlängenbereich
250 – 2500 nm
- Mess-Intervall 5 nm
- Vorder- oder Rückflächen-Spiegel
- flach oder mit Brennweite



Messung direkter Reflexionsgrad ρ_{direct}

- *Devices & Services R15 portables Reflektometer*
- kollimierte Beleuchtung bei $660 \pm 9 \text{ nm}$
- Mess-Apertur erlaubt 46, 25, 15 mrad Akzeptanzvollwinkel
- für CSP relevant: 25 mrad Apertur

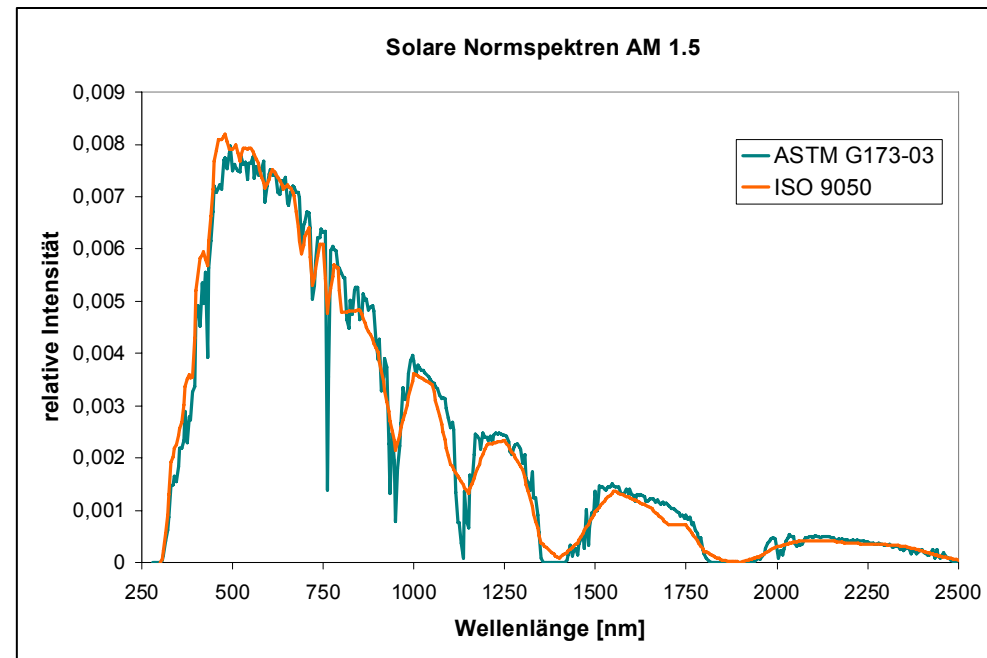


Solar gewichtete Reflexionsgrade hemisphärisch ρ_{SWH} und direkt ρ_{SWD}

- ASTM G173-03 direkte Solareinstrahlung AM 1.5 (Bsp. $\rho_{SWH} = 0,903$)
- ISO 9050 globale Solareinstrahlung AM 1.5 (Bsp. $\rho_{SWH} = 0,900$)
- ρ_{SWH} = Faltung Reflexionsspektrum mit Solarspektrum

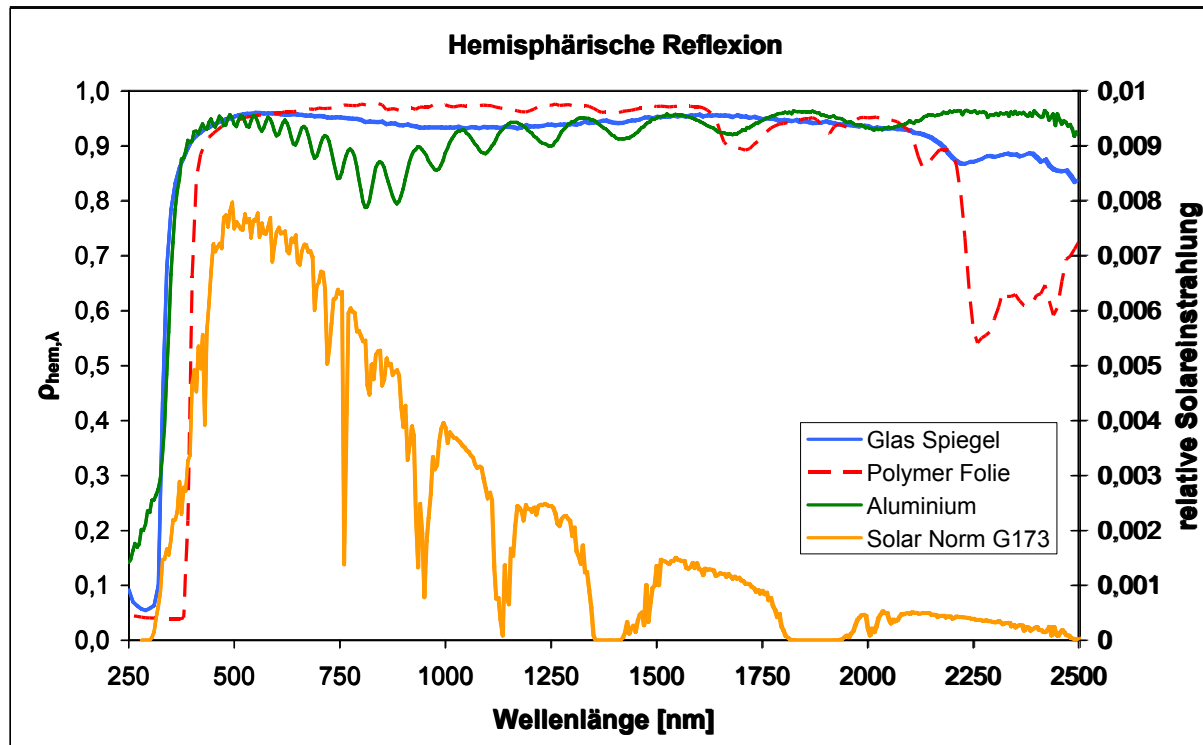
➤ Glanz der Spiegelmaterialien
($\rho_{\text{direct}} / \rho_{\text{hem}}$) annähernd konstant
(Abweichung 0,016 – 0,03)

$$\rho_{SWD} = \frac{\rho_{\text{direct},660}}{\rho_{\text{hem},660}} \cdot \rho_{SWH}$$



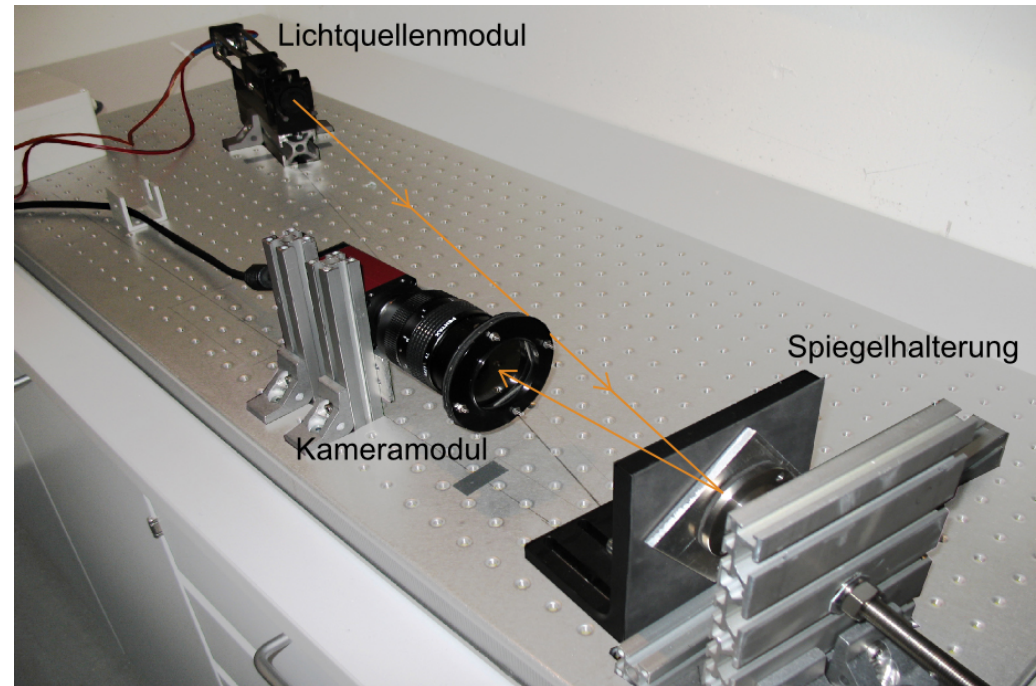
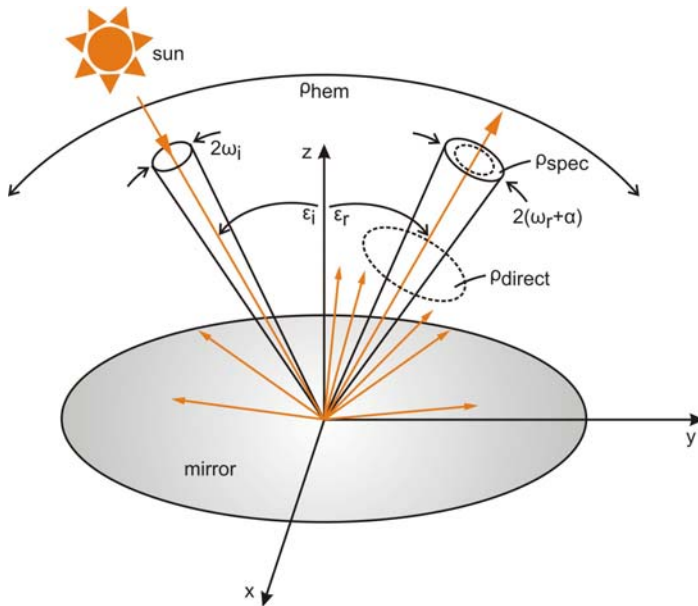
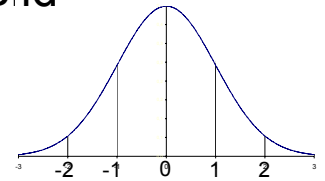
Beispiele

	Glas Spiegel	Aluminium	Polymer Folie
$\rho_{\text{SWH}} \text{ G173}$	0,939	0,903	0,922
$\rho_{\text{SWD}} \text{ G173}$	0,939	0,830	0,874
Glanz	1	0,92	0,95

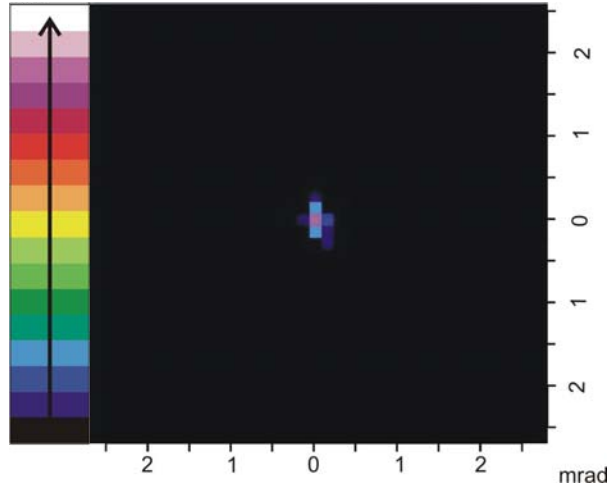


Strahlaufweitung α

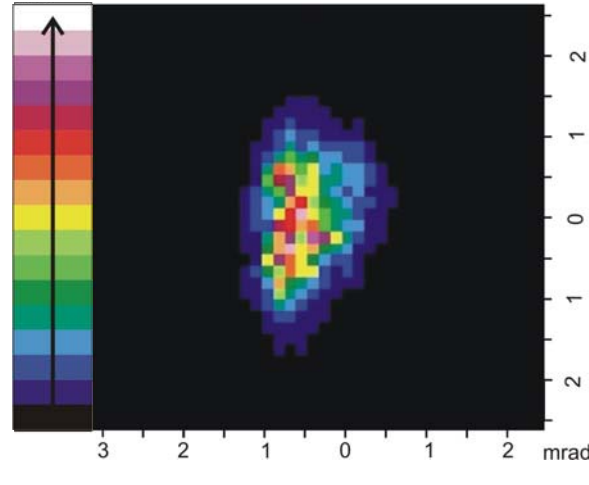
- HDR Kamerasystem *Charm*
- Gauss-ähnliche Intensitätsverteilung bei Strahlaufweitung im Bild
- Berechnung α aus 1 Standardabweichung der Verteilung
- Auflösung 0,13 mrad / Pixel



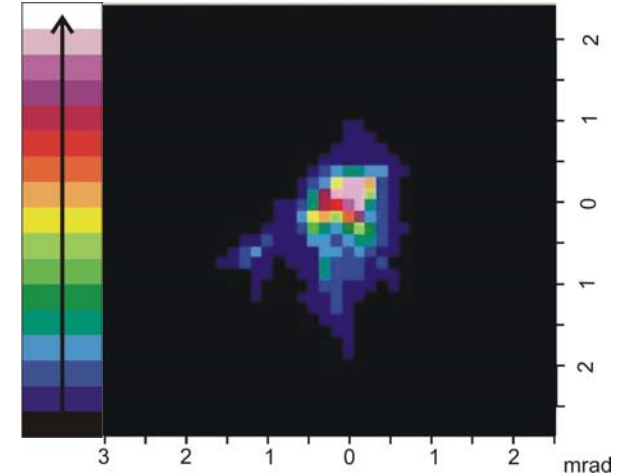
Beispiele



Glas Spiegel



Aluminium



Polymer Folie

- Strahlaufweitung bei allen Proben kleiner als Anforderung ($\alpha = 0,8-1,2$ mrad)
- vergrößerte Strahlaufweitung & Streuung senkrecht zur Walzrichtung (Aluminium)

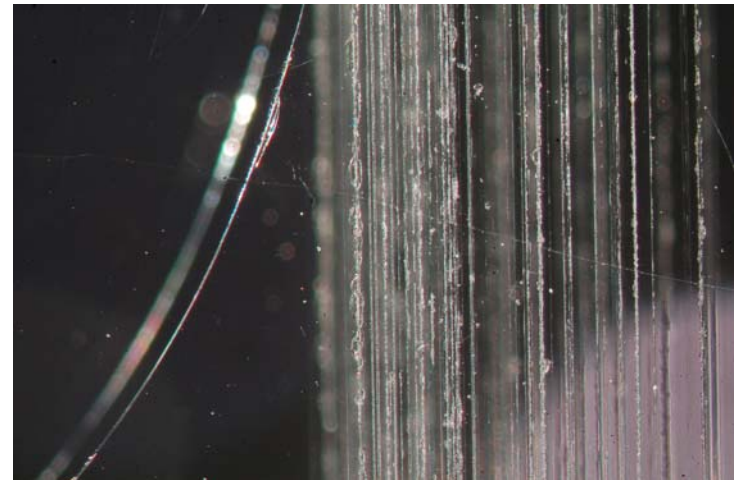
Reduzierte Reflexionsgrade ζ_{hem} und ζ_{direct}

- *Taber Linear Abraser Model 364*
- lineare Bewegung von Prüfkopf auf Probe
- definierte Parameter (Gewicht, Geschw., Strecke)
- Zyklen 1 – 10 000 (Faktor 10 Intervalle)
- reduzierte Reflektivität ζ :

$$\zeta_{\text{direct}}(n) = \frac{\rho_{\text{direct}}(n)}{\rho_{\text{direct}}(n=0)}$$

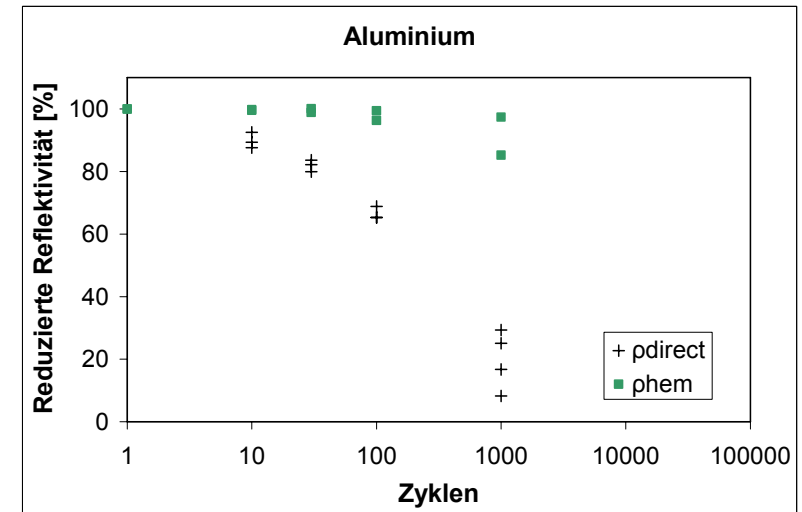
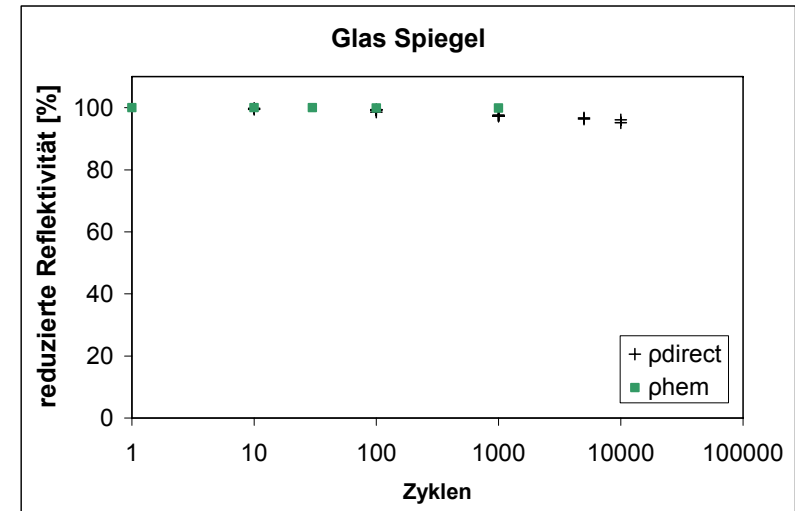
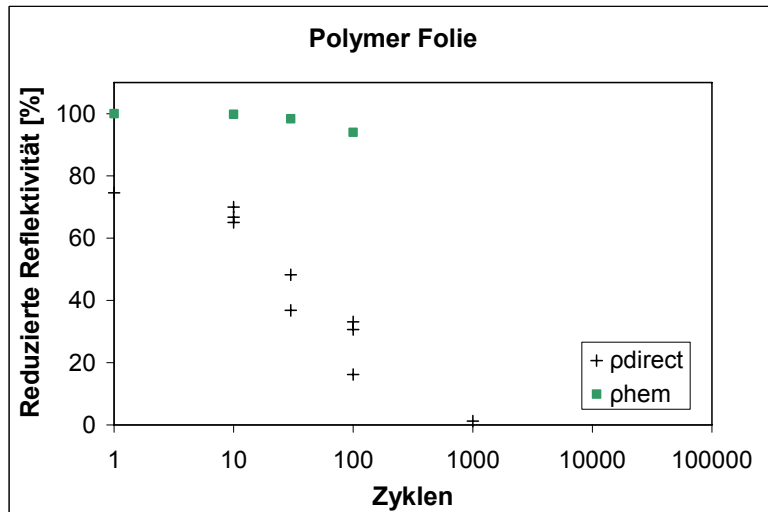
n = Anzahl Zyklen

Berechnung ζ_{hem} analog



Beispiele

- reproduzierbare Ergebnisse bis Beschädigung > 50%
- Einfluss hauptsächlich auf ρ_{direct}
- geeignet für Materialvergleiche



Fazit

- Material-Analyse ermöglicht Qualitätseinschätzung für Markt-Entscheidungen und Weiterentwicklung
- Glas-Spiegel weiterhin Vorreiter, Verbesserungsbedarf bei alternativen Materialien
- Bei Veröffentlichung von Werten notwendige Angaben:
 - Art der Reflexion (hemisphärisch, direkt)
 - Akzeptanzwinkel bei Messung von ρ_{direkt}
 - verwendete Solarnorm bei solarer Gewichtung

ρ_{SWD} bei 25 mrad wichtigster Parameter für aktuelle CSP-Anwendung



**DANKE
für Ihre Aufmerksamkeit!**

